

Dr hab. n. med. Piotr Wilczek prof. IPS

Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. Prof. Zbigniewa Religi

W Zabrzu

RECENZJA

Rozprawa doktorska

mgr inż. Marta Sobkowiak

pt.: „Modelowanie i symulacja przepływu krwi przez środkową tętnicę mózgu”

Przedstawiona mi do recenzji praca porusza niezwykle istotny problem zarówno badawczy jak i praktyczny dotyczący modelowania i symulacji przepływu krwi przez naczynia tętnicze w mózgu. Istotność tej problematyki związana jest z faktem że choroby układu krążenia stanowią wciąż bardzo istotny problem w krajach rozwijających się i stanowią jedną z głównych przyczyn zachorowalności i śmiertelności wśród chorych. Wydaje się że w najbliższych latach tego rodzaju tendencja będzie się utrzymywała. Jest to wynikiem między innymi nieprawidłowego sposobu odżywiania się w tym spożywania produktów wysoko przetworzonych oraz dużego narażenia na stres. Oprócz czynników środowiskowych istotne znaczenia mają również czynniki genetyczne oraz choroby współistniejące w tym schorzenia metaboliczne oraz nadciśnienie tętnicze. Duża część chorób krążenia związana jest z chorobami mięśnia sercowego. Jednak równie duża część dotyczy schorzeń układu nerwowego w tym tętniaków mózgu. Pomimo znacznego postępu jaki dokonał się w zakresie diagnostyki w dalszym ciągu etiologia tętniaków mózgu jest nie do końca poznana. Jedną z przyczyn formowania się tego rodzaju zmian należy niewątpliwie upatrywać w geometrii naczyń zwłaszcza zmianach w promieniach tętnic mózgowych która ma wpływ na energię przepływu. Znalazło to potwierdzenie w analizach modeli rzeczywistych tętnic pacjentów. Równie istotnym czynnikiem są zmiany parametrów hemodynamicznych takich jak naprężenia ścinające oraz zmiany rozkładu ciśnień w tętnicach. W chwili obecnej istnieje cały szereg narzędzi z zakresu symulacji numerycznych. W tym przypadku dane obrazowe uzyskane z badania tomografii komputerowej lub rezonansu magnetycznego mogą stanowić dane wejściowe dzięki którym możliwe jest uzyskanie segmentacji struktur anatomicznych i tworzenia na tej podstawie modeli trójwymiarowych. W dalszej kolejności modele te mogą być wykorzystane do symulacji komputerowych które umożliwiają modelowanie przepływu krwi w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Sam proces modelowania pomimo dostępności zaawansowanych narzędzi komputerowych nie dają satysfakcjonującego opisu przepływu krwi przez tętnice mózgowie, związane jest to z brakiem ujednoczonych badań in vivo. Dla pełnego zrozumienia etiologii tętniaków mózgu wykorzystywane mogą być również modele eksperymentalne, w tym modele in vivo na zwierzętach, jednak prawidłowe zaplanowanie takiego modelu jest niezwykle trudne ze względu na złożoność i wielowymiarowość tego

procesu. Autorka Pani mgr inż. Marta Sobkowiak podjęła udaną próbę kompleksowego opisu i zaplanowania badań mających na celu modelowanie i symulację przepływu krwi w tętnicach mózgowych. Ponadto autorka nawiązała współpracę z Katedrą i Oddziałem Klinicznym Neurochirurgii ŚUM Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego nr. 5 im św. Barbary w Sosnowcu, co z jednej strony pozwoliło jej na uzyskanie wiarygodnych danych obrazowych badania tomografii komputerowej oraz USG Doppler a z drugiej strony lepsze zrozumienie zagadnień tętniaków mózgu, dzięki czemu praca oprócz waloru poznawczego zyskała również istotny walor praktyczny. Dużą wartością są również zaplanowane badania eksperymentalne. Tak kompleksowe podejście stanowi niewątpliwie osiągnięcie autorki.

Przedstawiona mi do oceny monografia liczy łącznie 173 strony. Tworzą ją następujące części: wstęp, przegląd aktualnego stanu wiedzy, cel i zakres pracy, modelowanie przepływu przez środkową tętnicę mózgu, wielowariantowa analiza przepływu krwi przez środkową tętnicę mózgu, przepływ krwi przez środkowe tętnice mózgu – numeryczna analiza retrospektywna, przepływ krwi przez środkowe tętnice mózgu – badania eksperymentalne, analiza i dyskusja wyników, podsumowanie i wnioski. Końcową część rozprawy stanowi bibliografia obejmująca aż 94 pozycje literaturowe, oraz dwa cytowania stron internetowych. Bibliografia została właściwie i w sposób wyczerpujący dobrana i cytowana. W monografii zamieszczono również wykaz najważniejszych skrótów, rycin oraz tabeli. Przedstawiona mi do recenzji dysertacja posiada liczne bo aż 192 ryciny oraz 23 tabele. Zarówno zamieszczone ryciny jak i tabele w znacznym stopniu ułatwiają zrozumienie uzyskanych wyników. W końcowej części umieszczono również streszczenie w języku polskim i angielskim. Układ pracy jest przejrzysty i czytelny, a proporcje poszczególnych rozdziałów zostały zachowane. Poszczególne rozdziały są podzielone w logiczny sposób na podrozdziały wyodrębniające się ze względu na problem szczegółowy lub metodykę badań. Pozwala to śledzić przyjęty przez autorkę kierunek prowadzonych prac.

Pracę rozpoczyna krótki wstęp w którym autorka w sposób przejrzysty i wystarczający przedstawia podstawowe zagadnienia dotyczące etiologii tętniaków mózgu oraz badań wykorzystujących metody modelowania i symulacji komputerowych. Stanowi on jednocześnie uzasadnienie podjęcia tematyki w ramach rozprawy doktorskiej.

Dalszą część pracy stanowi przegląd aktualnego stanu wiedzy. Rozdział ten został podzielony na dwie części. Pierwsza z nich opisuje podstawy kliniczne związane z tętniakami mózgu, w którym autorka w poszczególnych podrozdziałach w sposób wyczerpujący przedstawia, problematykę dotyczącą etiologii powstawania tętniaków mózgu, aktualnych sposobów leczenia oraz badań klinicznych. W kolejnych rozdziałach autorka Pani mgr inż. Marta Sobkowiak opisuje aktualny stan wiedzy w obszarze badań modelowych w tym badań numerycznych i eksperymentalnych przepływu krwi przez tętnice mózgowie. Taki układ pracy jest bardzo pomocny dla pełnego zrozumienia poruszanej problematyki. Dużą zaletą tego rozdziału są zamieszczone ryciny, które pomagają w lepszym zrozumieniu opisywanych zagadnień. Obszerne wprowadzenie, w którym autorka opisuje zagadnienia kliniczne oraz zagadnienia modelowania matematycznego i obliczenia numeryczne z wykorzystaniem CFD wskazują że autorka bardzo dobrze porusza się w obszarze interdyscyplinarnym. Niewątpliwie

wskazuje również na bardzo dobrą znajomość poruszanych zagadnień jaką wykazuje Pani mgr inż. Marta Sobkowiak. Dużą zaletą tego rozdziału jest również zamieszczony na końcu rozdział „Ocena aktualnego stanu wiedzy” który w syntetyczny sposób podsumowuje wszystkie wcześniej opisywane zagadnienia.

W kolejnym rozdziale „Cel i zakres pracy” autorka formułuje jeden cel główny, bazując przy tym na przeglądzie aktualnego stanu wiedzy. Oprócz celu głównego autorka podjęła się realizacji celów szczegółowych. Dla osiągnięcia zarówno celu głównego jak i celów szczegółowych autorka w tym rozdziale wskazała główne zadania przyjęte do realizacji. Formułując cele pracy, Pani mgr inż. Marta Sobkowiak oparła je o prawidłowo przyjęte założenia. Wskazuje, że głównym celem jest opracowanie modelu przepływu krwi przez środkową tętnicę mózgu z użyciem metody CFD który umożliwi symulację i analizę parametrów morfotycznych i hemodynamicznych oraz ich wpływu na powstanie tętniaków. Takie podejście jest właściwe i uzasadnione, ponieważ stworzenie właściwego układu modelowego jest czynnikiem determinującym uzyskanie pozostałych celów pracy oraz jej podstawowego założenia. Przyjęte do realizacji zadania takie jak modelowanie przepływu, wielowariantowa analiza przepływu, numeryczna analiza retrospektywna przepływu krwi i wreszcie badania eksperymentalne ułożone są w bardzo logiczny ciąg, uwzględniając wszystkie elementy krytyczne mogące mieć wpływ na formowanie tętniaków mózgu. Sposób realizacji celów pracy oraz poszczególnych zadań wskazuje również, że praca posiada istotny potencjał do tego, aby znaleźć zastosowanie praktyczne.

Kolejne rozdziały w sposób przejrzysty objaśnia szczegóły metodyczne pracy oraz sposób prowadzenia eksperymentów. Autorka Pani mgr inż. Marta Sobkowiak przedstawia w sposób czytelny założenia przyjęte do modelowania przepływów opisując szczegółowo etapy modelowania, sposób identyfikacji modelowego obiektu, estymację parametrów modelowych i co bardzo istotne weryfikację oraz walidację opracowanych modeli. Czytelność całego rozdziału zwiększają zamieszczone ryciny oraz zawarte w rozdziale tabele. Należy podkreślić, że taka konstrukcja prac badawczych świadczy o dobrej znajomości warsztatu metodologicznego, co stanowi jednocześnie gwarancję uzyskania poprawnych wyników, a co za tym idzie daje możliwość właściwego wnioskowania. W przedstawionej mi do recenzji monografii Pani mgr inż. Marta Sobkowiak, zaprezentowano szeroki i w pełni satysfakcjonujący warsztat metodyczny. Na podkreślenie zasługuje niewątpliwie samodzielnie stworzone stanowisko do badań eksperymentalnych, jest to szczególnie trudne biorąc pod uwagę złożoność procesu tworzenia tętniaków mózgu, oraz biorąc pod uwagę że do tej pory brak jest jasnego opisu zjawisk przepływu co wynika z kolei z braku ujednoczonych badań in vivo. Wszystkie metody badawcze zostały właściwie dobrane, gwarantując rzetelność uzyskanych wyników.

Kolejną część pracy stanowi rozdział „Analiza i dyskusja wyników”. Rozdział ten w sposób syntetyczny omawia uzyskane wyniki. Analiza i dyskusja wyników wydaje się w tym przypadku o tyle trudna że autorka w swojej pracy wykonała wiele badań i analiz. Wykorzystując sformułowane modele MCA wykazała między innymi że parametry morfotyczne mają istotny wpływ na uzyskiwane wartości hemodynamiczne jednocześnie

ciekawym wydaje się wykazanie że parametr WSS jest bardziej czuły na zmiany promieni, niż miało to miejsce w przypadku ciśnienia. Wyniki badań zostały omówione przez autorkę w sposób zwięzły i wyczerpujący, a umieszczone w tekście tabele i ryciny są pomocne w analizie danych. Warto zaznaczyć, że zastosowany podział powoduje, że omówienie wyników jest przejrzyste i zachowuje logiczny ciąg myślowy. Sposób prowadzenia dyskusji wskazuje na bardzo dobrą znajomość autorki aktualnych zagadnień związanych z modelowaniem i symulacją procesów mogących mieć wpływ na tworzenie się tętniaków mózgu, świadczy również o dojrzałości naukowej Pani mgr inż. Marty Sobkowiak.

Pani mgr inż. Marta Sobkowiak w części końcowej przedstawia siedem wniosków, które są dobrze udokumentowane rezultatami badań. Wnioski jakie prezentuje autorka w swojej monografii są adekwatne do założonych celów pracy jak również są spójne z otrzymanymi wynikami. Na podkreślenia zasługuje bardzo szerokie piśmiennictwo prezentowane w rozprawie. Dobór piśmiennictwa jest prawidłowy i obejmuje najnowsze pozycje literaturowe dotyczące omawianego obszaru badań.

Uwagi:

1. W części „Cel i zakres pracy” w sposób precyzyjny został określony cel szczegółowy, wydaje się jednak że cele szczegółowe powinno zostać bardziej precyzyjnie opisane.
2. Dużym walorem pracy jest stworzenie oryginalnego stanowiska eksperymentalnego, wydaje się jednak że warto by umieścić dodatkowe informacje dotyczące weryfikacji i walidacji tego stanowiska, i ewentualnego porównania z podobnymi rozwiązaniami.
3. Praca zawiera liczne ryciny, jednak nie zawsze są one wystarczająco czytelne, warto by rozważyć w przypadku dalszego planowania wyników badań w formie publikacji zmniejszenie ilości rycin co mogłoby wpłynąć na lepszą ich jakość.

Podsumowując chciałbym stwierdzić, że przedstawioną mi do recenzji monografię oceniam bardzo wysoko. Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego i może znaleźć również zastosowanie praktyczne. Przedstawione z obowiązku recenzenta drobne uwagi mają bardziej charakter sugestii i w niczym nie umniejszają wysokiej wartości recenzowanej rozprawy na stopień doktora nauk medycznych. Dlatego z pełnym przekonaniem uznaję, że rozprawa doktorska mgr inż. Marty Sobkowiak pt.: „Modelowanie i symulacja przepływu krwi przez środkową tętnicę mózgu” spełnia wszelkie wymogi rozprawy na stopień doktora zgodnie z obowiązującą Ustawą z dn. 18 lipca 2018 : Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce,. Zwracam się, wobec tego do Rady Dyscypliny Inżynierii Biomedycznej o dopuszczenia Pani mgr inż. Marty Sobkowiak do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Zwracam się ponadto do Rady Dyscypliny Inżynierii Biomedycznej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marty Sobkowiak ze względu na jej istotny walor poznawczy oraz praktyczny.

Dr hab. n. med. Piotr Wilczek prof. IPS

Zabrze, 29.11.2022 r.